

Conductividad eléctrica de la solución nutritiva efecto en el rendimiento y la calidad nutraceutica de pimiento morrón

Ema Luz Pérez-Vazquez¹
Jazmín Monserrat Gaucín-Delgado¹
Silvia Citlaly Ramírez-Rodríguez¹
María de los Ángeles Sariñana-Navarrete¹
Gerardo Zapata Sifuentes²
Elizabeth Zuñiga-Valenzuela^{3§}

¹Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Torreón. Carretera Torreón-San Pedro km 7.5, Ejido Ana, Torreón, Coahuila, México. CP. 27170. (luz_pe1192@hotmail.com; jazmontse@hotmail.com; citlaly_rrha@hotmail.com). ²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. (gdo.zapata81@gmail.com). ³Universidad Juárez del Estado de Durango-Facultad de Agricultura y Zootecnia Venecia. Ej. Venecia, Gómez Palacio, Durango, México. CP. 35000.

§Autora para correspondencia: elizabeth.zunigaval@yahoo.com.mx.

Resumen

La concentración de ionica de la solución nutritiva en sistemas hidropónicos influye en el rendimiento y la calidad de los frutos cosechados. Bajo esta perspectiva el objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva (SN) sobre el rendimiento y contenido de compuestos bioactivos en frutos de pimiento morrón. Bajo un diseño experimental completamente al azar con diez repeticiones, plantas de pimiento fueron irrigadas con una SN a diferente CE (1, 2, 3.2 y 4 dS m⁻¹), se determinó el rendimiento y en frutos se cuantificaron los compuestos bioactivos. Los resultados indican que una conductividad eléctrica de tres o superior mejora la calidad nutraceutica, pero disminuye el rendimiento de pimiento morrón. El manejo agronómico de la CE en la SN es una alternativa para incrementar la calidad nutraceutica y la capacidad antioxidante de los frutos de pimiento morrón desarrollado en condiciones hidropónicas.

Palabras claves: *Capsicum annuum* L, cultivos sin suelo, nutraceuticos.

Recibido: julio de 2020

Aceptado: agosto de 2020

El pimiento morrón es una de las especies de hortalizas que se cultivan más ampliamente en el mundo (De Charlo *et al.*, 2012). México es el principal proveedor de este producto al mercado de Estados Unidos y Canadá (Díaz *et al.*, 2013). Los estados con mayor producción son Sinaloa, Sonora y Guanajuato (SAGARPA, 2016). El interés en el consumo de pimiento morrón se debe, en gran medida, a su contenido de compuestos bioactivos, los cuales son una rica fuente de antioxidantes que pueden variar entre los genotipos de diferente color y en la etapa madura como en la etapa de maduración completa (Chávez *et al.*, 2015).

Estos fitoquímicos antioxidantes pueden prevenir algunos tipos de cáncer, también tienen un efecto en el control de enfermedades cardiovasculares, aterosclerosis e influyen positivamente en la prevención del proceso de envejecimiento (Selahle *et al.*, 2015). La superficie sembrada por este cultivo está en continuo incremento y representa 16% de la superficie sembrada en condiciones de agricultura protegida en el país, solo superado por el cultivo de tomate el cual se cultiva en 70% (SAGARPA, 2012).

En estos sistemas de producción un factor importante en el rendimiento y calidad de los cultivos es la concentración iónica de las SN; expresada como CE (Preciado-Rangel *et al.*, 2003). El manejo adecuado de la CE de la SN es un punto crucial (Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012), debido a que valores bajos provoca deficiencias nutrimentales principalmente de N y altos induce problemas de absorción de nutrientes por poseer un potencial osmótico alto, lo cual limita la absorción de iones por la raíz. También se utiliza para mejorar el contenido de compuestos bioactivos en la parte comestible de la planta (Lam *et al.*, 2020), a expensas de un decremento en el rendimiento (Moya *et al.*, 2017). Bajo esta perspectiva el objetivo fue determinar el efecto de la CE de la SN sobre las propiedades nutraceuticas del fruto sin disminuir el rendimiento.

Material vegetal y condiciones de crecimiento

El experimento fue desarrollado en un invernadero semiautomático, circular, cubierto con una capa de polietileno plástico y sistema de enfriamiento semiautomático, está ubicado en el Instituto Tecnológico de Torreón, Torreón, Coahuila, México (24° 30' y 27° latitud norte, 102° 00' y 104° 40' longitud oeste y 1 120 msnm). Plántulas de chile pimiento morrón (*Capsicum annuum* L), con cuatro hojas verdaderas y una altura entre 15-20 cm (una plántula por maceta), fueron colocadas en bolsas de plástico negro de 20 L, como macetas, con arena de río y vermiculita (80:20), como sustrato. La arena del río se lavó y desinfectó con solución de hipoclorito de sodio al 5%. Las macetas se colocaron en doble hilera con una densidad 3 plantas m⁻². Con un sistema de riego por goteo se irrigó tres veces al día, rociando con 1 L maceta⁻¹ d⁻¹ desde el trasplante hasta la floración y 2 L maceta⁻¹ d⁻¹ de la floración a la cosecha.

Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental fue completamente aleatorizado. Los tratamientos consistieron en cuatro soluciones nutritivas con diferente conductividad eléctrica (1, 2, 3 y 4 dS m⁻¹) tomando como base la solución nutritiva Steiner (1984), el pH de las soluciones nutritiva se mantuvo entre 5.0 y 5.5. Cada tratamiento incluyó 10 plantas y cada planta fue una réplica. Agua de grifo se usó para preparar cada solución nutritiva, el análisis del agua reporto una CE: 0.49, pH: 6.97, cationes (me L⁻¹): Ca²⁺ 3.63, Mg²⁺ 0.15, K⁺ 0.02, Na⁺ 1.64 y aniones (me L⁻¹) HCO₃⁻ 1.55, Cl⁻ 2.09 y SO₄²⁻ 1.02, por tanto, se clasificó como C₂S₁ (Ayers y Westcot, 1985).

Parámetros evaluados

Rendimiento

El peso de los frutos de cada planta fue cosechado usando una báscula digital portátil Ohaus® se obtuvo con una aproximación de 0.01 g. Los datos obtenidos se informan en kg planta⁻¹.

Diámetro ecuatorial del fruto

Los diámetros longitudinal y transversal se obtuvieron de los frutos, para ello se utilizó un vernier digital marca Truper modelo 14388 y se expresaron en milímetros (mm).

Contenido de sólidos solubles

Se determinó el contenido de sólidos solubles a los frutos de pimiento morrón con un refractómetro Atago Master 2311. Se tomaron cuatro frutos de cada tratamiento y repetición. A los frutos se realizó un corte para poder extraer una gota y poder colocarlo en la lente del refractómetro, esto se repitió por veces en cada fruto, los resultados se expresaron en °Brix.

Compuestos bioactivos

Preparación de la muestra

Muestras de frutos frescos se lavaron con agua destilada durante 2 min para eliminar residuos y se liofilizaron durante 10 d. Luego, el material seco se trituró manualmente (en mortero) y se almacenaron en tubos de plástico Eppendorf a -18 °C hasta que se obtuvieron los extractos.

Extractos de compuestos fenólicos

Una muestra seca de 100 mg se mezcló con 5 mL de metanol, en un tubo de plástico con tapón de rosca. Esta se colocó en un agitador (ATR Inc., USA) durante 24 h (20 rpm) a 5 °C. Los tubos se centrifugaron a 30 000 × g durante 5 min y el sobrenadante se extrajo para las pruebas analíticas.

Determinación de fenoles totales

El contenido fenólico total se midió usando una modificación del método de Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999). 30 µl de extracto se mezclaron con 270 µl de agua destilada en un tubo de ensayo, para luego añadir 1.5 ml de reactivo de Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, St Louis MO, EEUU) diluido (1:15) y se agitó con vortex durante 10 s. Después de 5 min se añadió 1.2 ml de carbonato de sodio (7.5% w/v) y se agitó durante 10 s.

La solución se colocó en baño de agua a 45 °C durante 15 min, y después se dejó enfriar a temperatura ambiente. La absorbancia de la solución se leyó a 765 nm en un espectrofotómetro UV (Genesys 10). Para calcular el contenido fenólico se realizó una curva de calibración utilizando ácido gálico como estándar, y los resultados se registraron en mg de equivalente de ácido gálico por 100 g en base a peso seco (mg AGE 100 g⁻¹ PS).

Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante equivalente en Trolox se evaluó de acuerdo con el método in vitro ABTS⁺ publicado por Esparza-Rivera *et al.* (2006). Se preparó una solución de ABTS⁺ con 40 mg de ABTS (Aldrich, St. Louis, Missouri, EU) y 1.5 g de dióxido de manganeso (Fermont, Nuevo León, México) en 15 ml de agua destilada. La mezcla fue agitada vigorosamente y se dejó reposar cubierta con papel aluminio durante 20 minutos. Luego, la solución se filtró en papel Whatman 40 (GE Healthcare UK Limited, Little Chalfont, Buckinghamshire, Reino Unido) y la absorbancia se ajustó a 0.7 ± 0.01 a una longitud de onda de 734 nm utilizando solución fosfato buffer 5 mM.

Para la determinación de capacidad antioxidante se mezclaron 100 μ l de muestra y 1 ml de solución ABTS⁺, y después de 60 y 90 segundos de reacción se leyó la absorbancia de la muestra a 734 nm. Se preparó una curva estándar con Trolox (Aldrich, St. Louis, Missouri, EU) y los resultados se reportaron como capacidad antioxidante equivalente en mM equivalente en Trolox por g base seca (mM equiv Trolox g⁻¹ BS). Los análisis se realizaron por triplicado.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de los resultados se sometieron a un análisis de varianza y para la separación de medias se utilizó la prueba simultánea de Tukey $p \leq 0.05$.

Rendimiento

El rendimiento disminuye con una CE superior a 2 dS m^{-1} , el menor rendimiento causado por el incremento en la CE de la SN, es debido a la disminución en el tamaño y peso de los frutos (Figura 1a), similares resultados son reportados por (Fallik *et al.*, 2019), al indicar que el rendimiento del pimiento morrón disminuye conforme se incrementa la salinidad, debido el pimiento es un cultivo sensible a la salinidad (Ben-Gal *et al.*, 2008), con una CE superior a 3 dS m^{-1} , exceden los requerimientos nutrimentales del cultivo (Sonneveld y Van der Burg, 1991); sin embargo, no todos los cultivares responden de una manera similar (Aktas *et al.*, 2006).

La reducción en el rendimiento debido al menor tamaño de los frutos es atribuible a que estos presentan una mayor dificultad en la absorción de agua, causada por una alta concentración de iones en la rizosfera afectando así la expansión de los frutos, además de lo anterior también se puede reducir algunos nutrimentos principalmente aquellos que son absorbidos por flujo de masas lo que puede causar problemas de pudrición apical (Terraza *et al.*, 2008). También es posible que la disminución del rendimiento sea causada por una baja fotosíntesis, lo que disminuye la disponibilidad de CO₂ como resultado de las limitaciones de difusión (Flexas *et al.*, 2007) y por una disminución de la conductancia de CO₂ en los estomas y mesofilo (Ashraf y Harris, 2013).

Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles en frutos de pimiento se incrementaban conforme aumentaba la CE en la SN (Figura 1c). Similares resultados fueron encontrados por Navarro-López *et al.* (2012), al encontrar que una CE de 3 y 4 dS m^{-1} se incrementan significativamente los SST en los frutos de pimiento. La mayor acumulación de sólidos solubles en el fruto, es debido a que cuando existe una CE altas en la SN, se produce una reducción del flujo de agua hacia el fruto y al aumento de la hidrólisis de

sacarosa, que produciría fructosa y glucosa, en respuesta al alto potencial osmótico en la a solución nutritiva (Fallik *et al.*, 2019), lo que ocasiona una acumulación activa de solutos en los frutos como azúcares simples (glucosa, fructosa y sacarosa), con lo que se logra disminuir el potencial osmótico, facilitando así la absorción de agua en los frutos (Goykovic-Cortés y Saavedra-del Real, 2007).

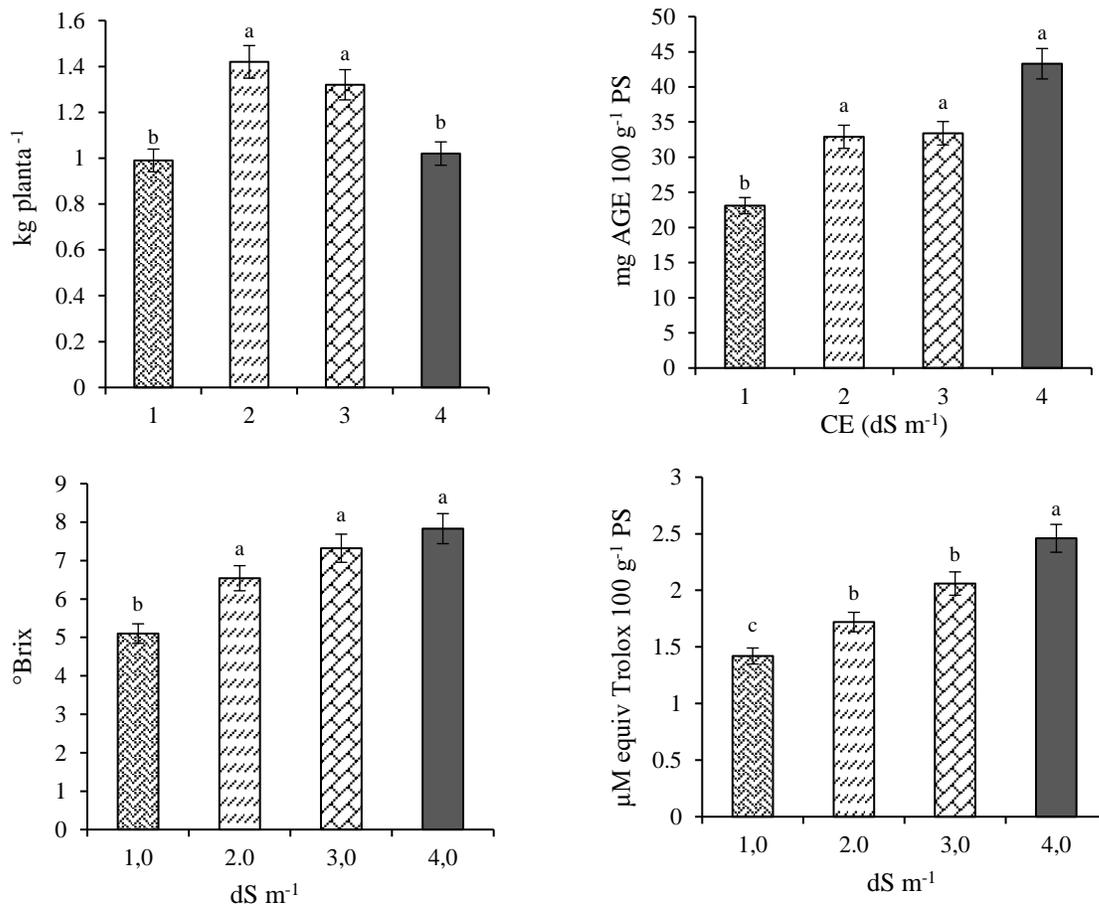


Figura 1. Efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva, sobre el rendimiento, sólidos solubles torales, compuestos fenólicos y actividad antioxidante de frutos de pimiento morrón.

Compuestos fenólicos y actividad antioxidante

El consumo de alimentos ricos en compuestos bioactivos se asocia con un menor riesgo de enfermedades por cáncer y prevención de muchas enfermedades, de ahí la importancia de aumentar la biosíntesis de estos compuestos en los frutos antes de la cosecha y su posterior consumo. La síntesis y acumulación de compuestos bioactivos en las plantas generalmente es estimulada por el estrés biótico o abiótico como la salinidad, dichos compuestos tienen la función de proteger del daño oxidativo grave a los lípidos, proteínas y ácidos nucleicos (Navarro *et al.*, 2006).

A medida que se incrementa la CE en la SN, el contenido de compuestos fenólicos (Figura 1b) y la actividad antioxidante (Figura 1d) en los frutos de pimiento se incrementa. El contenido total de fenoles y los antioxidantes totales aumentaron un promedio de 46 y 42%, respectivamente, entre

la menor y la mayor CE. Este comportamiento es causado por la alta CE de la NS que induce a un estrés salino y por ende las plantas van a producir mayor contenido de sustancias antioxidantes para su defensa ante el estrés oxidativo (Navarro *et al.*, 2006; Carmine *et al.*, 2017).

El aumento de compuestos bioactivos en los frutos es deseable debido a que los compuestos antioxidantes protegen a las células humanas de los radicales libres, los cuales provocan daños a las células y aumentan el riesgo de desarrollar cáncer, enfermedades cardiovasculares y otros trastornos degenerativos (Carranco *et al.*, 2011).

Conclusiones

La conductividad eléctrica en la solución nutritiva afecta el rendimiento y la calidad de los frutos de pimiento morrón. Una conductividad eléctrica de 3 dS m⁻¹ o superior mejora la calidad nutraceutica, pero disminuye significativamente el rendimiento de pimiento morrón.

Literatura citada

- Aktas, H.; Abak, K. and Cakmak, I. J. S. H. 2006. Genotypic variation in the response of pepper to salinity. *Sci. Hort.* 110 (3):260-266.
- Ashraf, M. and Harris, P. J. C. 2013. Photosynthesis under stressful environments: an overview. *Photosynthetica.* 51(2):163-190.
- Ayers, R. S. and Westcot, D. W. 1985. Water quality for agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome.
- Ben-Gal, A.; Ityel, E.; Dudley, L.; Cohen, S.; Yermiyahu, U.; Presnov, E.; Zigmund, L. and Shani, U. 2008. Effect of irrigation water salinity on transpiration and on leaching requirements: A case study for bell peppers. *Agric. Water Management.* 95(5):587-597.
- Carmine, A.; Laura Del, V.; Silvano, S.; Antonio, C. and Gianluca, C. 2017. Effects of cultural cycle and nutrient solution electrical conductivity on plant growth, yield and fruit quality of 'Friariello' pepper grown in hydroponics. *Hortic. Sci.* 44(2):91-98.
- Carranco, M. J.; Calvo, L. C. M. and Romo, F. P. 2011. Carotenoids and their antioxidant function: a review. *Arch. Latinoam. Nutr.* 61(3):233-241.
- Chávez-Mendoza, C.; Sánchez, E.; Muñoz-Márquez, E.; Sida-Arreola, J. P. and Flores-Córdova, M. A. 2015. Bioactive compounds and antioxidant activity in different grafted varieties of bell pepper. *Antioxidants.* 4(2):427-446.
- De Charlo, H. C. O.; Oliveira, S. F.; Vargas, P. F.; Cstoldi, R.; Barbosa, J. C. and Braz, L. T. 2012. Accumulation of nutrients in sweet peppers cultivated in coconut fiber. *Hortic. Bras.* 30(1):125-131.
- Díaz, F. A.; Alvarado, C. M.; Ortiz, C. F. y Grageda, C. O. 2013. Nutrición de la planta y calidad de fruto de pimiento asociado con micorriza arbuscular en invernadero. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4(2):315-321.
- Esparza-Rivera, J. R.; Stone, M. B.; Stushnoff, C.; Pilon-Smith, E. and Kendall, P. A. 2006. Effects of Ascorbic acid applied by two hydrocooling methods on physical and chemical properties of green leaf lettuce stored at 5 °C. *J. Food Sci.* 71(3):270-276.
- Fallik, E.; Alkalai-Tuvia, S.; Chalupowicz, D.; Zaaroor-Presman, M.; Offenbach, R.; Cohen, S. and Tripler, E. 2019. How water quality and quantity affect pepper yield and postharvest quality. *Horticulturae.* 5(1):1-4.

- Flexas, J.; Diaz-Espejo, A.; Galmés, J.; Kaldenhoff, R.; Medrano, H. and Ribas-Carbo, M. 2007. Rapid variations of mesophyll conductance in response to changes in CO₂ concentration around leaves. *Plant Cell Environ.* 30(10):1284-1298.
- Goykovic-Cortés, V. and Saavedra del Real, G. 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *Idesia.* 25(3):47-58.
- Lam, V. P.; Kim, S. J. and Park, J. S. 2020. Optimizing the electrical conductivity of a nutrient solution for plant growth and bioactive compounds of agastache rugosa in a plant factory. *Agronomy.* 10(1):1-15.
- Moya, C.; Oyanedel, E.; Verdugo, G.; Flores, M. F.; Urrestarazu, M. and Álvaro, J. E. 2017. Increased electrical conductivity in nutrient solution management enhances dietary and organoleptic qualities in soilless culture tomato. *HortScience.* 52(6):868-872.
- Navarro, J. M.; Flores, P.; Garrido, C. and Martínez, V. J. F. C. 2006. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chem.* 96(1):66-73.
- Navarro-López, E. R.; Nieto-Ángel, R.; Corrales-García, J.; García-Mateos, M. D. R. and Ramírez-Arias, A. 2012. Calidad poscosecha en frutos de tomate hidropónico producidos con agua residual y de pozo. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 18(3):263-277.
- Preciado-Rangel, P.; Baca-Castillo, G. A.; Tirado-Torres, J. L.; Kohashi-Shibata, J.; Tijerina-Chávez, L. and Martínez-Garza, Á. J. T. L. 2003. Presión osmótica de la solución nutritiva y la producción de plántulas de melón. *Terra.* 21(4):461-470.
- SAGARPA. 2016. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Cierre de la producción agrícola por cultivo. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>.
- SAGARPA. 2012. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación Agricultura protegida 2012. <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Paginas/AgriculturaProtegida2012.aspx>.
- Selahle, K. M.; Sivakumar, D.; Jifon, J. and Soundy, P. 2015. Postharvest responses of red and yellow sweet peppers grown under photo-selective nets. *Food Chem.* 173(5):951-956.
- Singleton, V. L.; Orthofer, R. and Lamuela-Raventós, R. M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology.* 299(25):152-178.
- Sonneveld, C. and Van der Burg, A. M. M. 1991. Sodium chloride salinity in fruit vegetable crops in soilless culture. *Neth. J. Agric. Sci.* 39(2):115-122.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. *In: Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture.* ISOSC. Lunteren, The Netherlands. 633-649 pp.
- Terraza, S. P.; Romero, M. V.; Peña, P. S.; Madrid, J. L. C. and Verdugo, S. H. J. I. 2008. Efecto del calcio y potencial osmótico de la solución nutritiva en la pudrición apical, composición mineral y rendimiento de tomate. *Interciencia.* 33(6):449-456.
- Trejo-Téllez, L. I. and Gómez-Merino, F. C. 2012. Nutrient solutions for hydroponic systems. *In: Asao, T. (Ed.), Hydroponics: A standard methodology for plant biological researches.* China: InTech. Doi: 10.5772/37578. 2-22 pp.